

甘蔗常用亲本及其衍生品种的抗旱性评价

陈义强, 邓祖湖, 郭春芳, 陈如凯, 张木清

(福建农林大学农业部甘蔗生理生态与遗传改良重点实验室, 福州 350002)

摘要: 【目的】为获得抗旱性强的甘蔗亲本及其衍生品种提供依据。【方法】利用已建立的甘蔗抗旱生理鉴定技术对 38 个中国常用甘蔗亲本及其衍生品种进行盆栽人工水分胁迫抗旱性评价。【结果】通过聚类和判别分析将其抗旱性分为 3 类。【结论】抗旱亲本桂糖 11 及其衍生的品种云蔗 89-351、桂糖 89-5 表现较强的抗旱性; 中高抗亲本 CP72-1210 和新台糖 1 号衍生品种的抗旱性取决于另一亲本的抗旱性, 与抗旱性强的亲本粤农 73-204、湛 74-141 衍生的品种粤糖 93-159、福农 95-1702 和福农 91-4621 表现为较强抗旱性, 选择不抗旱亲本科 5 和闽糖 69-243 组配组合选育的福农 91-4710 和福农 94-0403 的抗旱性为中低抗; 不抗旱亲本选 15 衍生的品种闽糖 92-505 等基本不抗旱。其它亲本种质如斑茅、福农 81-745、崖 90-33 和崖 73-512 等经鉴定为抗旱种质或亲本。

关键词: 甘蔗; 抗旱; 常用亲本

Drought Resistant Evaluations of Commonly Used Parents and Their Derived Varieties

CHEN Yi-qiang, DENG Zu-hu, GUO Chun-fang, CHEN Ru-kai, ZHANG Mu-qing

(Key Lab of Eco-Physiology and Genetic Improvement for Sugarcane, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002)

Abstract: 【Objective】The present study was to evaluate the drought resistance of sugarcane. 【Method】38 commonly used parents and their derived varieties were pot-planted in the greenhouse. Their grown-well sugarcane plants were ceased water at the elongation stage of sugarcane. The water stressed and non stressed leaves were collected for evaluating drought resistance with the established physiological evaluation techniques. 【Result】The results showed that 38 commonly used parents and their derived varieties of sugarcane were classified into three groups by cluster and discrimination analysis. 【Conclusion】Guitang 11 and its derived cultivars, such as YunZhe 89-351 and Guitang 89-5, performed to be highly resistant to drought. The drought resistance in the derived varieties from CP72-1210 and ROC1 with moderate resistance will be subject to the other parent. Yuetang 93-159, Funong95-1702 and Funong 91-4621 derived from the other drought resistant parents (Yuenong 73-204 and Zhan74-141) performed to be resistant to drought, and Funong 91-4710 and Funong 94-0403 derived from the water susceptible parents (Ke 5 and Mintang 69-243) to be lowly resistant to drought. The water susceptible parents Xuan 15 and its derived cultivars, Mintang 88-103 and Mintang 92-505, were all susceptible to water stress. The other tested germplasm or parents, such as Hannan 92-105 (clones of *E.arundinaceus*), Funong 81-745, Ya73-512 and Ya90-33 were resistant to water stress.

Key words: Sugarcane (*S. officinarum* L.); Drought resistance; Commonly used parents

0 引言

【研究意义】甘蔗是中国最重要的糖料作物, 由于甘蔗增产潜力大、蔗糖生产成本低, 蔗糖已占全国

食糖总产的 90% 以上。当前, 中国蔗区主要分布在广西、云南和广东等地区, 旱地植蔗面积已占全国植蔗总面积的 85% 以上, 干旱已成为制约中国蔗糖生产的关键因素之一, 严重影响中国糖业的国际竞争力。根

收稿日期: 2006-04-19; 接受日期: 2006-09-20

基金项目: 国家“863”计划课题糖料新品种选育课题(2004AA241190), 国家自然科学基金(30370901)以及教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20040389009)资助

作者简介: 陈义强(1978-), 男, 福建漳平人, 博士研究生, 研究方向为作物生理遗传与分子育种。通讯作者张木清(1966-), 男, 福建周宁人, 教授, 研究方向为作物生理遗传与分子育种。E-mail: zmuqing@163.com. Tel: 0591-83789177

据国内外生产经验, 选育抗旱性强、水分利用率高的作物或品种是提高农业水分利用效率的最有效措施之一, 在甘蔗抗旱品种选育中, 筛选评价甘蔗抗旱种质对甘蔗抗旱育种尤其重要。【前人研究进展】虽然美国佛罗里达州的迈阿密和印度科印拜陀两个国际甘蔗种源保存中心分别保育 4 998 份和 3 327 份种质, 澳大利亚和中国也分别有 2 000 份以上的种质, 但应用于甘蔗遗传改良和新品种选育的种质资源材料很少, 抗性种源主要集中在少数几个割手密亲本材料如瓜哇、印度和海南割手密, 并且几乎所有的品种都来自 POJ2878 等少数亲本。“种”的血缘狭窄, 必然导致在亲本选配中出现近亲杂交、而且距离野生种的代数越来越远, 必然导致育成品种生活力、适应性、抗逆性和宿根性的普遍下降^[1,2]。因此, 如何准确评价和筛选现代甘蔗品种资源和亲本的抗旱性是目目前甘蔗抗旱育种的关键问题。【本研究切入点】近十几年来, 世界各国的甘蔗育种者通过国际合作在甘蔗斑茅杂交利用上取得了初步进展, 陆续报道育成了一些有希望的含斑茅血缘的甘蔗无性系^[3], 并对甘蔗与斑茅远缘杂交后代的鉴别、分析、染色体遗传方面研究, 但对其后代的抗旱性研究较少^[4~6]。【拟解决的关键问题】为此, 项目组在国家“863”、国家自然科学基金等项目的资助下, 在系统开展水分胁迫下甘蔗的活性氧清除^[7~10]、多胺代谢^[11]、质膜稳定性^[12]以及抗旱基因表达调控^[13]等研究基础上, 依据所建立的甘蔗抗旱鉴定

技术体系, 对 4 个常用亲本及其衍生品种进行抗旱性筛选和评价, 以期对甘蔗抗旱育种提供新的材料和种质资源。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试材料有 CP72-1210、选 15 (Co1001)、新台糖 1 号 (ROC1)、桂糖 11 (桂 73-167) 等 4 个常用亲本及其衍生品种和其它一些普遍认为抗旱性较好的甘蔗品种或材料 (表 1)。

采用盆栽土培方式, 每个盆钵装土 11 kg, 供试材料于 2003 年 12 月 25 日种于福建农林大学甘蔗综合研究所 (福州) 的玻璃大棚里, 使其正常生长。5 月 28 日开始把材料分成 2 组, 其中一组继续正常供水, 作为对照; 另一组停止供水, 进行水分胁迫处理。

试验分相同胁迫时间和相同胁迫强度 2 种方式取样。相同胁迫时间取样于闽糖 88-103、RB72-454 等 4 个基因型首批出现严重水分胁迫症状时 (断水 11 d), 对所有供试基因型同时取样; 相同胁迫强度取样根据各供试材料叶片出现永久萎蔫、卷曲、枯黄等严重缺水症状的时间分批进行, 并记下胁迫时间。采样分别在早晨 8 点采集+1 叶样品 (甘蔗最高可见肥厚带所在的叶片), 置于湿纱布中带回实验室进行生理分析。

严重缺水按 Hsiao 的标准进行划分, 相对含水量降低大于 20% 属严重缺水, 严重缺水时, 植株从上而

表 1 抗旱资源筛选供试材料

Table 1 Materials tested for the drought resistance valuation

常用亲本 Commonly used parents	组合 Cross combinations	后代品种 Derived cultivars	其它供试基因型 Other tested genotypes
CP72-1210	CP72-1210×科 5 CP72-1210×Ke5 CP72-1210×粤农 73-204CP72-1210×Yuenong73-204 粤农 73-204×CP72-1210 Yuenong73-204 ×CP72-1210 CP72-1210×崖 71-374 CP72-1210×Ya71-374 CP72-1210×闽糖 69-263 CP72-1210×Mintang69-263 CP72-1210×湛 74-141 CP72-1210×Zhan74-141	福农 91-4710 Funong91-4710 福农 95-1702 Funong95-1702 粤糖 93-159 Yuetang93-159 桂糖 96-44 Guitang96-44 福农 94-0403 Funong94-0403 福农 91-4621 Funong91-4621	福农 95-1630 Funong95-1630 福农 81-745 Funong81-745 CP84-1198 RB72-454 湛 86-368 Zhan86-368 CP72-2086
选 15 Ke5	选 15×崖 82-96 Xuan15×Ya82-96 选 15×CP73-1547 Xuan15×CP73-15467 选 15×崖斑茅 Xuan15× <i>E.arundinaceus</i> 选 15×崖 82-108 Xuan15×Ya82-108	闽糖 88-103 Mintang88-103 闽糖 92-505 Mintang92-505 崖 90-31 Ya90-31 福农 96-0616 Funong96-0616	崖 90-33 Ya90-33 崖 73-512 Ya73-512 崖 90-3 Ya90-3 海南 92-105 Hainan92-105
新台糖 1 号 ROC1	新台糖 1 号×崖 90-31 ROC1×Ya90-31 新台糖 1 号×崖 71-374 ROC1×Ya71-374 新台糖 1 号×崖 71-374 ROC1×Ya71-374	云蔗 95-128 Yunzhe95-128 桂糖 93-103 Guitang93-103 赣南 95-108 Gannan95-108	(<i>E.arundinaceus</i>) 福建斑茅 (<i>E.arundinaceus</i> from Fujian)
桂糖 11 Guitang11	桂糖 11×崖 82-96 Guitang11×Ya82-96	云蔗 89-351 Yunzhe89-351 桂糖 89-5 Guitang89-5	

下各片叶子叶尖枯萎,甚至整叶枯死^[14]。

1.2 试验方法

细胞膜保护酶液的提取参照张木清方法进行^[11];丙二醛(MDA)含量测定参照Heath和Packer的方法进行^[15];质膜透性(PMP)的测定参照谭常的方法进行^[16];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参照Giannoplitis和Ries的方法进行^[17];过氧化物酶(POD)活性参照刘祖祺和张石城的方法进行^[18];过氧化氢酶(CAT)活性参照冯国基和崔巧生方法进行^[19];叶绿素(CHL)含量测定参照陈福明和陈顺伟的混合液法^[20];可溶性蛋白(PRO)含量以牛血清蛋白为标准蛋白质,参照Bradford方法^[21];光合作用参数采用CID-301光合测定系统测定。

1.3 统计分析

试验数据采用SAS统计软件进行统计分析,其中方差分析采用ANOVA过程;聚类分析选用重心法(CENTROID)采用CLUSTER过程;判别分析采用DISCRIM过程进行逐步判别,并建立判别函数。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫下甘蔗不同种质材料的生理响应

相同胁迫时间(断水11d)各生理指标的变化幅度(表2)和达到相同胁迫强度的每日变化幅度(表3)的结果表明,水分胁迫下叶片的MDA含量、PMP、POD酶活性和SOD酶活性升高,而CHL含量、PRO含量、CAT酶活性和净光合速率(P_n)下降。说明水分胁迫下,甘蔗叶片细胞膜脂过氧化作用加剧,质膜透性增大,叶绿素、可溶性蛋白质大量降解,光合作用降低。其中福建斑茅、海南92-105(斑茅)、崖90-33、桂糖96-44、桂糖11、福农81-745出现严重缺水症状的时间较迟,在断水20d后才出现严重缺水症状;闽糖92-505、崖82-108、闽糖88-103、RB72-454出现严重缺水症状的时间较早,断水11d后便出现了严重缺水症状,且此时叶绿素含量、可溶性蛋白含量、CAT酶活性和净光合速率的降幅较大,MDA含量、质膜透性增幅较大,POD酶活性和SOD酶活性升幅较小;而福建斑茅、海南92-105、崖90-33、桂糖96-44、桂糖11、福农81-745在断水11d时叶绿素含量、可溶性蛋白含量、CAT酶活性和净光合速率的降幅较小,MDA含量、质膜透性增幅较小,POD酶活性和SOD酶活性升幅较大。

2.2 甘蔗不同种质材料抗旱性的聚类及判别分析

方差分析表明,断水11d与正常供水间各生理指

标差异均达到极显著水平($P=0.0001<0.01$),基因型间的差异除MDA含量($P=0.4282>0.05$)、质膜透性($P=0.5046>0.05$)和SOD活性($P=0.6238>0.05$)不显著外,其余均达到显著水平($P<0.05$)。严重水分胁迫与正常供水的各生理指标差异也达到极显著水平($P=0.0001<0.01$),基因型间的差异除MDA含量($P=0.5115>0.05$)、质膜透性($P=0.3850>0.05$)和叶绿素含量($P=0.8265>0.05$)不显著外,其余均达到显著水平($P<0.05$)。利用上述对干旱胁迫反应显著的7个抗旱性生理生化指标对38个甘蔗基因型的聚类分析结果(图1)表明,当两类重心间距离为0.50时,对于相同胁迫时间(断水11d后)取样的38个甘蔗基因型抗旱性可分成3种类型:高抗、中抗和低抗;而对于严重胁迫时取样的基因型的抗旱性可分成4种类型,其中两个斑茅材料(福建斑茅、海南92-105)单独聚为一类,为特抗旱材料,其它分为3种类型,两种分析方法的聚类结果除部分基因型在高抗与中抗,或中抗与抵抗之间有所不同外,25个基因型的聚类结果完全相同(图1)。综合各基因型在干旱胁迫过程中形态和生理生化指标的变化,表现高抗的基因型有粤农73-204、粤农93-159、崖82-96、桂糖11、云蔗89-351、崖90-33、福建斑茅、海南92-105、桂糖96-44、福农81-745,这几个基因型出现严重缺水症状的时间较迟,叶绿素与蛋白质含量的降解较慢,叶片细胞膜脂过氧化作用较轻,质膜透性增加较少,过氧化物酶活性与超氧化物歧化酶活性迅速提高,从形态上看,它们中有些基因型叶片窄且细长,尤以福建斑茅和海南92-105最为明显;闽糖88-103、闽糖92-505、崖82-108、桂糖93-103、赣南95-108、崖90-3、RB72-454、湛86-368等基因型在干旱胁迫后很快就出现严重缺水症状,叶绿素与蛋白质含量的降解较快,叶片细胞膜脂过氧化作用加剧,质膜透性增大,过氧化物酶活性与超氧化物歧化酶活性增加较少,表现出较弱的抗旱性;而选15、CP84-1198、崖90-31、CP72-1210、科5、福农91-4710、福农95-1702、闽糖69-263、湛74-141、CP73-1547、新台糖1号、云蔗95-128、桂糖89-5、崖73-512、CP72-2086、福农95-1630、福农94-0403、福农91-4621、福农96-0616和崖71-374等基因型介于其中,表现中抗。

同样,以对甘蔗抗旱性归类有显著影响的7个指标MDA(X_1)、PMP(X_2)、CHL(X_3)、PRO(X_4)、POD(X_5)、SOD(X_6)和CAT(X_7)作为判别式的变量,进行逐步判别分析,经显著性测验,入选质膜

表 2 断水 11 d 时甘蔗叶片各生理指标的变化幅度

Table 2 Variation of physiological indicators in the sugarcane leaves exposed to ceasing water for 11 days (%)

供试基因型 Tested genotypes	MDA (+)	PMP (+)	CHL (-)	PRO (-)	POD (+)	SOD (+)	CAT (-)	Pn (-)
闽糖 88-103 Mintang 88-103	498.9	449.8	63.6	46.6	86.5	43.1	80.1	98.4
海南 92-105 Hannan92-105 (<i>E.arundinaceus</i>)	73.9	18.4	13.8	9.3	197.3	157.4	19.2	50.2
选 15 Xuan 15	87.8	19.6	46.2	13.5	189.8	81.1	23.4	76.7
桂糖 96-44 Guitang 96-44	54.5	28.5	8.4	11.7	106.1	104.9	9.1	48.4
崖 90-31 Ya90-31	117.3	79.9	29.4	11.3	109.5	119.0	18.8	70.3
崖 71-374 Ya71-374	438.0	374.2	52.0	50.9	75.6	44.7	65.5	86.9
桂糖 11 Guitang 11	84.7	42.3	27.7	9.4	173.3	123.5	32.8	58.5
赣南 95-108 Gannan95-108	337.3	380.0	62.4	46.4	78.7	11.8	49.8	98.6
粤农 73-204 Yuenong 73-204	68.1	118.3	22.9	26.0	89.1	93.9	24.6	100.2
崖 82-108 Ya82-108	374.8	355.2	65.1	51.7	90.9	29.3	56.9	88.5
科 5 Ke5	305.8	122.3	39.9	33.3	120.2	64.4	50.0	91.2
闽糖 92-505 Mintang92-505	493.3	478.5	72.4	44.9	52.2	46.4	44.8	93.7
闽糖 69-263 Mintang69-263	228.9	82.0	50.7	37.0	183.8	32.0	38.0	90.7
崖 90-33 Ya90-33	67.3	22.3	12.5	14.5	174.1	159.3	8.7	59.3
福建斑茅 <i>E.arundinaceus</i> from Fujian	73.9	11.9	6.6	4.1	136.8	201.7	18.4	49.6
RB72-454	455.0	483.2	56.8	51.6	17.4	16.8	46.1	90.7
CP72-2086	272.0	290.6	46.7	17.2	86.7	22.9	38.2	85.4
福农 81-745 Funong81-745	90.1	55.6	18.2	23.3	247.9	96.3	20.7	65.0
新台糖 1 号 ROC1	229.5	187.9	51.8	56.3	85.3	31.6	53.8	74.8
崖 90-3 Ya90-3	421.1	397.6	70.6	53.5	47.8	31.6	50.4	89.2
湛 86-368 Zhan86-368	473.6	520.6	67.6	49.9	37.8	43.7	55.3	86.4
桂糖 93-103 Guitang 93-103	502.6	330.5	78.4	52.9	35.8	19.3	50.8	90.6
CP84-1198	119.1	102.8	37.3	26.6	112.0	90.3	33.2	75.0
桂糖 89-5 Guitang89-5	252.1	192.6	82.9	25.5	37.7	38.6	56.1	79.5
粤糖 93-159 Yuetang93-159	97.0	52.1	33.7	23.1	123.9	87.6	28.3	67.6
CP73-1547	220.9	266.7	49.0	40.5	162.0	22.7	56.7	92.6
崖 82-96 Ya82-96	78.1	63.0	22.8	12.5	178.6	88.6	21.1	68.5
云蔗 89-351 Yunzhe89-351	95.5	39.0	6.8	10.1	120.0	84.8	34.9	70.2
福农 95-1702 Funong95-1702	257.9	258.1	29.6	36.4	135.4	15.0	52.4	92.6
福农 96-0616 Funong96-0616	263.3	380.5	46.7	25.4	80.5	20.4	25.8	72.7
福农 91-4710 Funong 91-4710	240.9	125.0	81.5	24.5	83.5	35.5	70.3	88.9
福农 95-1630 Funong95-1630	222.4	110.9	35.3	49.9	138.5	32.3	34.8	93.3
福农 91-4621 Funong 91-4621	359.4	307.7	24.7	29.7	64.8	7.4	25.0	86.7
湛 74-141 Zhan74-141	175.8	80.0	35.9	25.7	125.7	12.3	29.6	90.8
福农 94-0403 Funong94-0403	556.0	407.1	61.6	43.6	14.0	6.4	59.3	95.9
CP72-1210	222.3	168.2	54.8	39.1	75.6	59.7	57.7	69.6
崖 73-512 Ya73-512	260.7	56.6	18.7	15.5	106.8	41.8	35.8	80.9
云蔗 95-128 Yunzhe95-128	232.4	237.5	41.7	40.0	141.8	16.2	50.0	93.8

表内的数值为各基因型相同时间胁迫变化幅度 (%) = (断水 11 d 时的各生理指标测量值 - 正常供水时的各生理指标测量值) ÷ 正常供水时的各生理指标测量值 × 100%; (+): 表示增加, (-): 表示减少

Data in the Table were variation percentage (VP, %) of tested genotypes exposed to the same duration from ceasing water. $VP = \frac{Tr-CK}{CK} \times 100$

Where Tr was the physiological indicator of tested genotypes exposed to ceasing water for 11 days; CK was the physiological indicator of tested genotypes under well watered at the same time. Positive (+) stands for increment; negative (-) stands for decrement

透性 (PMP)、叶绿素含量 (CHL)、蛋白质含量 (PRO) 和过氧化氢酶活性 (CAT) 等 4 个显著指标建立如下判别函数:

$$Y_{\text{低抗}}(X) = 0.5443\text{PMP} + 3.4059\text{CHL} + 5.2368\text{PRO} + 4.7598\text{CAT} - 45.0853$$

$$Y_{\text{中抗}}(X) = 0.1564\text{PMP} + 3.4177\text{CHL} + 4.2311\text{PRO}$$

$$+ 3.8928\text{CAT} - 25.309$$

$$Y_{\text{高抗}}(X) = 0.0794\text{PMP} + 1.5508\text{CHL} + 2.0814\text{PRO} + 2.1268\text{CAT} - 6.2903$$

根据判别函数, 利用相互验证法对原分类重新判别归类, 判别归类的结果在 76 个样品中只有 3 个样品被误判, 在相同胁迫时间的处理中云蔗 89-351 和粤糖

表 3 严重水分胁迫下甘蔗叶片各生理指标的每日变化幅度

Table 3 Daily variations of physiological indicators in the sugarcane leaves exposed to severe water stress (%)

供试基因型 Tested genotypes	MDA (+)	PMP (+)	CHL (-)	PRO (-)	POD (+)	SOD (+)	CAT (-)
闽糖 88-103 Mintang 88-103	45.36	51.47	5.78	4.85	18.73	14.42	7.28
崖 82-108 Ya82-108	43.05	48.34	5.92	4.70	18.94	15.65	4.38
闽糖 92-505 Mintang 92-505	41.24	43.50	6.58	4.79	17.29	10.22	5.58
RB72-454	43.63	50.95	5.16	5.06	15.05	20.68	4.99
选 15 Xuan 15	33.69	34.81	5.57	3.92	13.05	11.92	5.96
崖 71-374 Ya71-374	32.12	26.99	6.07	3.58	13.13	5.64	5.36
赣南 95-108 Gannan95-108	32.10	42.06	6.20	4.86	15.78	4.76	5.75
科 5 Ke5	41.11	50.80	5.43	3.21	15.93	4.74	5.92
闽糖 69-263 Mintang 69-263	29.40	20.43	5.47	3.48	19.62	8.21	4.95
CP72-2086	31.35	40.96	5.99	3.04	14.21	6.51	6.02
崖 90-3 Ya90-3	43.67	39.06	6.26	4.29	16.24	6.18	3.31
湛 86-368 Zhan 86-368	35.71	54.51	6.22	2.48	18.48	7.39	4.51
桂糖 93-103 Guitang 93-103	36.42	41.01	5.80	4.66	15.40	7.18	5.02
桂糖 89-5 Guitang 89-5	43.02	52.52	6.68	3.40	10.47	8.46	5.09
福农 96-0616 Funong96-0616	33.83	26.89	5.24	4.02	12.53	8.73	4.72
福农 91-4710 Funong 91-4710	31.37	28.04	6.04	4.57	13.65	4.05	5.27
福农 94-0403 Funong94-0403	29.71	26.72	6.41	3.52	12.58	4.02	3.84
云蔗 95-128 Yunzhe95-128	28.95	22.27	6.97	3.84	17.03	5.46	4.37
崖 90-31 Ya90-31	36.63	16.87	4.50	1.89	14.43	4.39	4.00
CP73-1547	35.35	12.61	5.49	3.60	10.05	5.65	4.01
福农 95-1702 Funong95-1702	28.27	25.18	5.08	3.10	10.46	3.85	3.88
福农 91-4621 Funong91-4621	29.15	22.46	5.63	3.69	11.00	3.90	2.20
湛 74-141 Zhan74-141	26.21	25.57	5.04	4.02	13.29	6.26	4.50
福农 95-1630 Funong95-1630	28.22	19.07	5.40	3.10	14.30	6.85	4.65
粤农 73-204 Yuenong73-204	23.51	15.43	3.08	2.03	11.66	5.70	1.44
CP84-1198	24.18	22.74	4.75	3.10	10.92	6.86	3.69
粤糖 93-159 Yutang93-159	21.33	19.55	3.87	2.20	7.31	5.99	3.53
崖 82-96 Ya82-96	22.11	17.99	3.33	2.29	6.35	5.97	3.59
新台糖 1 ROC1	18.98	21.20	2.98	2.49	8.64	3.94	1.22
云蔗 89-351 Yunzhe89-351	20.46	21.05	3.27	2.88	5.39	5.33	3.12
CP72-1210	11.25	16.85	3.63	2.69	7.35	2.82	2.52
崖 73-512 Ya73-512	22.42	16.65	2.89	2.65	7.13	4.21	2.60
海南 92-105 Hannan92-105 (<i>E.arundinaceus</i>)	4.55	5.97	0.55	1.46	4.72	3.18	1.80
桂糖 96-44 Guitang96-44	15.06	15.82	2.58	1.16	6.44	1.82	2.41
桂糖 11 Guitang 11	15.92	10.63	3.33	0.69	6.36	1.49	2.33
崖 90-33 Ya90-33	12.84	7.71	2.90	1.36	5.65	3.88	1.58
福建斑茅 <i>E.arundinaceus</i> from Fujian	3.94	5.35	1.77	0.22	4.47	4.55	1.93
福农 81-745 Funong 81-745	16.50	9.79	2.61	1.42	5.30	2.37	2.51

表内的数值为各基因型严重胁迫时日变化幅度 (%) = (严重水分胁迫下各生理指标测量值 - 正常供水时的各生理指标测量值) ÷ 正常供水时的各生理指标测量值 × 100% ÷ 断水时间 (d); (+): 表示增加, (-): 表示减少

Data in the Table were daily variation percentage (DVP, %) of tested genotypes exposed to ceasing water per day. $DVP = \frac{Tr-CK}{CK} \times 100$

Where Tr was the physiological indicator of tested genotypes exposed to the serious water stress; CK was the physiological indicator of tested genotypes under well watered at the same time. Positive (+) stands for increment; negative (-) stands for decrement

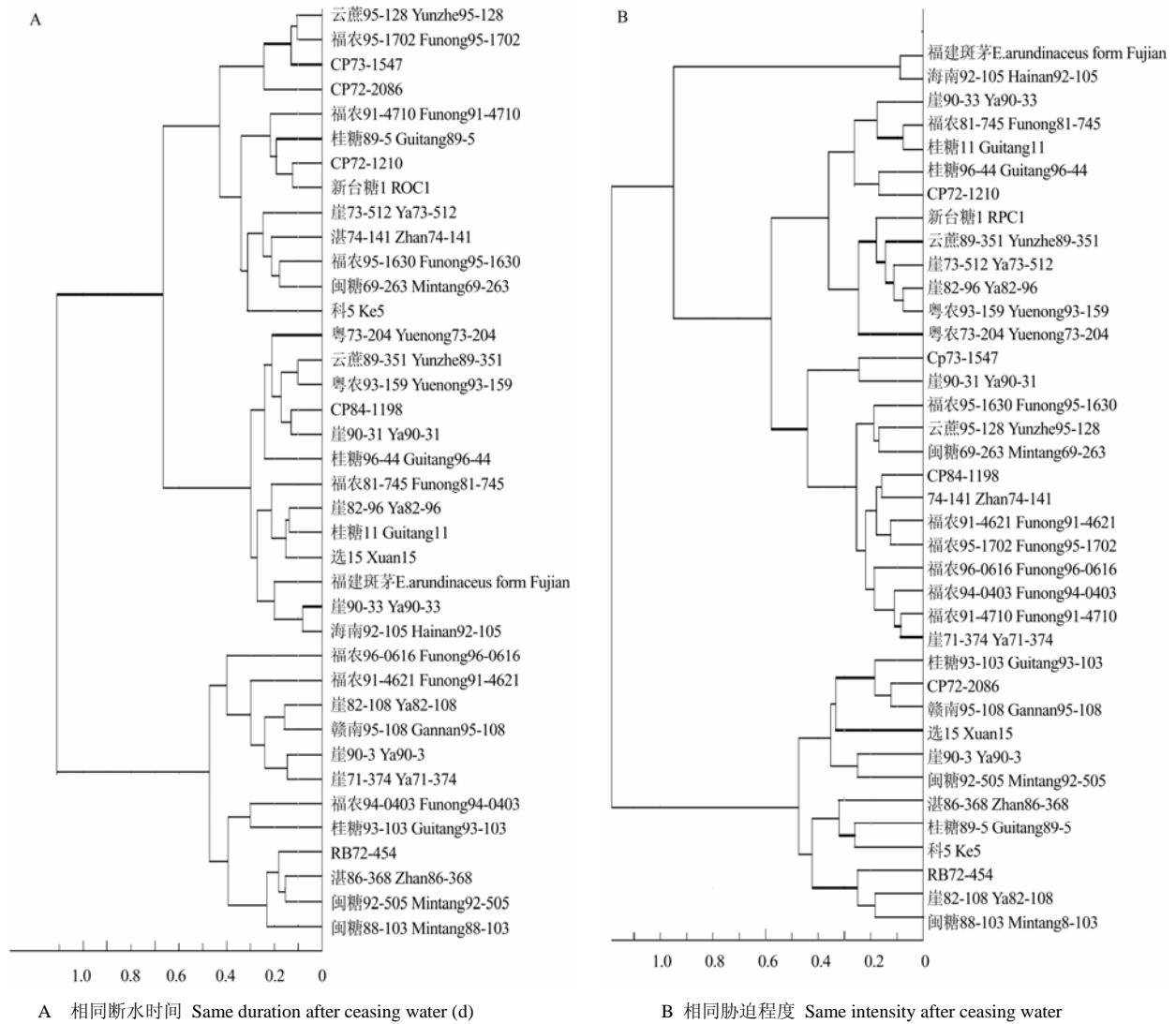


图 1 不同甘蔗基因型抗旱性的聚类分析

Fig. 1 Cluster analyses for drought resistance in sugarcane genotypes

93-159 由高抗被判为中抗，在严重胁迫处理时 CP84-1198 由中抗被判为高抗，误判率仅为 3.95%。说明本研究方法建立的 3 个判别函数的判别能力是比较高的。用回代法对原数据进行重新分类（表 4）。

表 4 的结果表明，在闽糖 88-103 等 4 个基因型首批出现严重胁迫时（断水 11 d），统一采样分析的聚类结果与出现相同严重胁迫时采样的聚类结果在明显不抗旱或高抗旱基因型间表现一致，在中等抗旱基因型中由于抗旱性的不同又可以分为中低抗、中抗和中高抗 3 种类型。因此建议在今后评价甘蔗基因型的抗旱性时，采用 2 种方法互相补充，可能会获得理想和准确的结果。唯一的例外是选 15，选 15 在相同胁迫

时间的聚类中被归为高抗，在相同胁迫强度的聚类中被归为低抗，由于选 15 在断水 14 d 时便出现严重缺水症状，而此时其它供试基因型中绝大部分还未出现严重缺水症状，因此，把选 15 归为低抗或中低抗更为合适。

3 讨论

甘蔗抗旱育种中，亲本选配很重要，亲本是否优良，是成败的关键。因此，抗旱育种过程中要重视对亲本抗旱性的评价，积极研究利用优良抗旱亲本及亲本间的配合力，筛选亲和力强的抗旱亲本^[1,2]。本研究通过对甘蔗不同抗旱分析方法进行比较，揭示了中

表 4 甘蔗基因型抗旱性的聚类与判别分析结果

Table 4 Cluster and discriminate analysis for the drought resistance of sugarcane genotypes

供试基因型 Tested genotypes	相同胁迫时间 Same stressed time			相同胁迫强度 Same stressed intensity			抗旱性 Drought resistance	严重胁迫时 断水天数 Ceasing water time (d)
	聚类分类	判别分类	后验概率	聚类分类	判别分类	后验概率		
	Cluster group	Discriminate group	Posterior probability	Cluster group	Discriminate group	Posterior probability		
闽糖 88-103 Mintang 88-103	低抗 LR	低抗 LR	0.999	低抗 LR	低抗 LR	0.999	低抗 LR	11
崖 82-108 Ya82-108	低抗 LR	低抗 LR	0.999	低抗 LR	低抗 LR	0.859	低抗 LR	11
闽糖 92-505 Mintang92-505	低抗 LR	低抗 LR	0.999	低抗 LR	低抗 LR	0.990	低抗 LR	11
RB72-454	低抗 LR	低抗 LR	1.000	低抗 LR	低抗 LR	0.996	低抗 LR	11
赣南 95-108 Gannan95-108	低抗 LR	低抗 LR	0.998	低抗 LR	低抗 LR	0.838	低抗 LR	14
崖 90-3 Ya90-3	低抗 LR	低抗 LR	0.917	低抗 LR	低抗 LR	0.950	低抗 LR	14
湛 86-368 Zhan86-368	低抗 LR	低抗 LR	1.000	低抗 LR	低抗 LR	0.999	低抗 LR	14
桂糖 93-103 Guitang93-103	低抗 LR	低抗 LR	0.993	低抗 LR	低抗 LR	0.634	低抗 LR	14
选 15 Xuan 15	低抗 LR	低抗 LR	0.936	高抗 HR	高抗 HR	0.992	中低抗 MLR	14
科 5 Ke5	低抗 LR	低抗 LR	1.000	中抗 MR	中抗 MR	0.954	中低抗 MLR	14
CP72-2086	低抗 LR	低抗 LR	0.986	中抗 MR	中抗 MR	0.578	中低抗 MLR	14
桂糖 89-5 Guitang89-5	低抗 LR	低抗 LR	1.000	中抗 MR	中抗 MR	0.998	中低抗 MLR	14
福农 91-4710 Funong91-4710	低抗 LR	低抗 LR	0.528	中抗 MR	中抗 MR	1.000	中低抗 MLR	14
福农 94-0403 Funong94-0403	中抗 MR	中抗 MR	0.937	低抗 LR	低抗 LR	0.956	中低抗 MLR	14
崖 71-374 Ya71-374	中抗 MR	中抗 MR	0.771	低抗 LR	低抗 LR	0.957	中低抗 MLR	14
闽糖 69-263 Mintang69-263	中抗 MR	中抗 MR	0.985	中抗 MR	中抗 MR	0.967	中抗 MR	14
福农 96-0616 Funong96-0616	中抗 MR	中抗 MR	0.795	中抗 MR	中抗 MR	0.593	中抗 MR	14
云蔗 95-128 Yuezhe 95-128	中抗 MR	中抗 MR	0.975	中抗 MR	中抗 MR	0.977	中抗 MR	14
CP73-1547	中抗 MR	中抗 MR	0.999	中抗 MR	中抗 MR	0.912	中抗 MR	16
福农 95-1702 Funong95-1702	中抗 MR	中抗 MR	0.972	中抗 MR	中抗 MR	0.930	中抗 MR	16
福农 95-1630 Funong95-1630	中抗 MR	中抗 MR	0.995	中抗 MR	中抗 MR	0.951	中抗 MR	16
CP84-1198	中抗 MR	中抗 MR	0.983	中抗 MR	高抗 HR	0.825	中抗 MR	18
崖 90-31 Ya90-31	中抗 MR	中抗 MR	0.845	高抗 HR	高抗 HR	1.000	中高抗 MHR	16
福农 91-4621 Funong91-4621	中抗 MR	中抗 MR	0.989	高抗 HR	高抗 HR	0.950	中高抗 MHR	16
湛 74-141 Zhan74-141	中抗 MR	中抗 MR	0.886	高抗 HR	高抗 HR	0.937	中高抗 MHR	16
新台糖 1 ROC1	高抗 HR	高抗 HR	0.988	中抗 MR	中抗 MR	0.980	中高抗 MHR	18
CP72-1210	高抗 HR	高抗 HR	0.695	中抗 MR	高抗 HR	0.997	中高抗 MHR	18
粤农 73-204 Yuenong 73-204	高抗 HR	高抗 HR	0.995	高抗 HR	高抗 HR	0.995	高抗 HR	18
粤糖 93-159 Yuetang93-159	高抗 HR	中抗 MR	0.637	高抗 HR	中抗 MR	0.982	中抗 MR	18
崖 82-96 Ya82-96	高抗 HR	高抗 HR	0.566	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	18
云蔗 89-351 Yunzhe89-351	高抗 HR	高抗 HR	0.573	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	18
崖 73-512 Ya73-512	高抗 HR	高抗 HR	0.897	高抗 HR	高抗 HR	0.999	高抗 HR	18
海南 92-105Hannan92-105	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	20
(<i>E.arundinaceus</i>)								
桂糖 96-44 Guitang96-44	高抗 HR	高抗 HR	0.998	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	20
桂糖 11 Guitang11	高抗 HR	高抗 HR	0.999	高抗 HR	高抗 HR	0.999	高抗 HR	20
崖 90-33 Ya90-33	高抗 HR	高抗 HR	0.999	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	20
福建斑茅 <i>E.arundinaceus</i> from Fujian	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	20
福农 81-745 Funong81-745	高抗(HR	高抗 HR	0.998	高抗 HR	高抗 HR	1.000	高抗 HR	20

LR: 低抗; MR: 中抗; HR: 高抗; MLR: 中低抗; MHR: 中高抗

LR=Low resistance to drought; MR=Moderate resistance to drought; HR=High resistance to drought; MLR=Moderately low resistance to drought; MHR=Moderately high resistance to drought

甘蔗育种主要亲本如 CP72-1210、桂糖 11、选 15、新台糖 1 号及其杂交后代的抗旱性, 以期为甘蔗抗旱育种提供依据。

CP72-1210 及其杂交后代的抗旱性: 含有 4 个甘

蔗近缘种血缘的早熟、高产、高糖亲本, 为美国佛罗里达州早熟、高糖、宿根性好的主栽品种, 曾占佛罗里达州蔗面积的 53.9% 以上, 引进后在中国不但可以作为品种 (命名选 36) 利用, 而且广泛作为亲本选配

杂交组合选育高优品种, 后代多数表现早熟或早中熟, 高糖, 丰产性、宿根性好, 抗旱性强。CP72-1210 是中国 20 世纪 90 年代最常用的引进亲本, 在 1-4 轮国家区试材料中有 8 份材料以 CP72-1210 为亲本, 并且至今已有福农 91-4621、福农 91-4710、福农 94-0403、福农 95-1702、桂糖 96-44、福农 91-3623 和粤糖 93-159 等通过国家或省审(鉴)定。林彦铨等抗性配合力研究发现 CP72-1210 还具有高的抗锈病性 *gca* 和高的抗盐、抗旱性 *gca*^[22]。在本研究的抗旱性鉴定中, CP72-1210 表现出较强的抗旱性, 其后代的抗旱性表现差异较大, 与另一亲本有关, 如选用抗旱性较强的粤农 73-204、湛 74-141 组配组合, 后代粤糖 93-159、福农 95-1702 和福农 91-4621 表现为较强抗旱性, 而以不抗旱亲本科 5 和闽糖 69-243 为亲本组配组合选育的福农 91-4710 和福农 94-0403 的抗旱性为中低抗, 说明抗旱亲本组合是关键, 但由于甘蔗为异源多倍体, 杂交后代分离广泛, 抗旱选择也同样重要。

选 15 及其杂交后代的抗旱性: 为福建育种单位常用的亲本, 它的后代一般表现为分蘖力强, 有效茎多, 但茎径和锤度的 *gca* 不理想^[23]。目前已有后代云蔗 89-7 和闽糖 88-103 通过国家审定。在本研究的抗旱性鉴定中, 选 15 表现为较弱的抗旱性, 它的 4 个后代中只有与近缘野生杂种杂交的崖 90-31 表现为比较强的抗旱性, 其余均表现为较弱的抗旱性。

新台糖 1 号及其杂交后代的抗旱性: 为台湾甘蔗糖业研究所选育的早熟高糖品种, 前期生长迅速, 是中国选育早熟高糖品种的重要亲本, 目前已有桂糖 91-116、桂糖 93-103 和赣南 95-108 通过国家或省审(鉴)定。在本研究的抗旱性鉴定中, 虽然新台糖 1 号表现为比较强的抗旱性, 它与表现中高抗的甘蔗野生杂种第 2 代崖 90-31 杂交选育的云蔗 95-128 表现为中抗外, 与表现中低抗的割手密 F₂ 崖 71-374 杂交选育的桂糖 93-103 和赣南 95-108 都表现为较弱的抗旱性。

桂糖 11 及其杂交后代的抗旱性: 为中国的重要生产品种, 曾为中国广西和云南的当家种, 耐旱力强, 育成的品种粤糖 89-240、云蔗 89-351 和福农 91-3623 通过国家审(鉴)定。在本研究的抗旱性鉴定中, 桂糖 11 及其后代云蔗 89-351 都表现出很强的抗旱性, 在抗旱育种中的应用前景较好。

其它亲本或种质的抗旱性分析: 除上述 4 个常用亲本及其衍生品种的抗旱性分析外, 还初步评价了福建斑茅、海南 92-105 (斑茅)、崖 73-512、RB72-454、

CP72-2086、CP84-1198、湛 86-368、福农 95-1630、福农 81-745、崖 90-3、崖 90-33 等 11 亲本种质材料的抗旱性。甘蔗近缘属植物斑茅(福建斑茅和海南 92-105)在两次聚类分析中表现为高抗或特高抗, 在实验中耐受的断水时间也最长, 说明斑茅确实具有很强的抗旱性, 与廖兆周等研究结果相同^[24]; 福农 81-745、崖 90-33、崖 73-512 在本次实验中表现出很强的抗旱性, 在两次聚类分析中都被归为高抗, 并且从系谱上看, 它们都为割手密的后代, 崖 90-33 为割手密的 F₂, 福农 81-745 为割手密的 F₄。CP84-1198 和福农 95-1630 表现中抗。其它如 RB72-454 则表现出较弱的抗旱性, 被归为低抗。

甘蔗为异源多倍体植物、遗传背景相当复杂, 而且抗旱性为多基因控制的数量性状, 涉及的基因和代谢众多, 因此准确评价甘蔗的抗旱性是相当困难的。需要指出的是甘蔗的杂交后代分离广泛, 基因型间差异大, 对亲本的抗性及其后代抗性的研究结果只能表明其作为亲本产生后代的一种趋势和可能性, 另外由于甘蔗生长过程中的影响因素众多, 有甘蔗自身生长特性的影响, 还有群体对个体的影响及其与环境的互作等。本研究结果是在盆栽土培条件下获得, 甘蔗生长与自然条件下比较会有所差异, 主要是根系的分布深浅与吸水能力无法得到充分体现, 因而对生长量大(包括地上部与地下部)的基因型如闽糖 88-103、福农 91-4710 等, 由于蒸腾量大, 在极端条件(严重胁迫)下较早造成伤害, 评价结果可能会有所偏差, 在其它作物如小麦生产上也得到了研究验证^[25], 这是抗旱盆栽试验的局限性, 但由于其具可控性、鉴定时间短等优点, 仍不失为一种快速的辅助鉴定手段, 在评价时与大田生产相结合, 则可提高准确性。

利用聚类和判别分析系统评价在首批出现严重水分胁迫时同时采样(相同胁迫时间)和相同严重水分胁迫时采样(相同胁迫强度)的甘蔗亲本种质的抗旱性, 结果表明两种研究方法对于抗旱性表现差异明显的基因型评价效果良好, 而对于中抗类型有一定差别, 建议综合采用上述两种取样分析方法进行聚类和判别分析, 对抗旱等级可以细分为中低抗、中抗、中高抗以及低抗和高抗等 5 种类型。总之, 通过常用亲本及其后代的抗旱性分析, 以抗旱性强的种质作为抗旱育种亲本选择到抗旱材料的机率较高, 但杂种后代的抗旱选择也至关重要。项目组目前正进一步利用基因芯片技术评价甘蔗抗旱的关键基因和关键代谢, 并拟利用基因工程技术改良甘蔗的抗旱性。

4 结 论

抗旱亲本桂糖 11 及其衍生的品种云蔗 89-351、桂糖 89-5 表现较强的抗旱性; 中高抗亲本 CP72-1210 和新台糖 1 号衍生品种的抗旱性取决于另一亲本的抗旱性, 与抗旱性强的亲本粤农 73-204、湛 74-141 衍生的品种粤糖 93-159、福农 95-1702 和福农 91-4621 表现为较强抗旱性, 选择不抗旱亲本科 5 和闽糖 69-243 组配组合选育的福农 91-4710 和福农 94-0403 的抗旱性为中低抗; 不抗旱亲本选 15 衍生的品种闽糖 92-505 等基本不抗旱。其它亲本种质如斑茅、福农 81-745、崖 90-33 和崖 73-512 等经鉴定为抗旱种质或亲本。

References

- [1] Berding N, Boach B T. Germplasm collection, maintenance and use. In: Heinz D J. *Sugarcane Improvement Posterior Irrobability Through Breeding*. Elsevier Press, 1987: 143-210.
- [2] 张木清, 王华忠, 白 晨. 糖料作物遗传改良与高效育种. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1-276.
Zhang M Q, Wang H Z, Bai C. *Genetic Improvement and Highly Efficient Breeding for Sugar Crop*. Beijing: China Agricultural Press, 2006:1-276. (in Chinese)
- [3] Shen W K. Discussion of the value of intergeneric crosses of *Saccharum* × *Erianthus*. *Sugarcane*, 2002, 9(3): 1-5.
- [4] Wen J C, Cai Q., Fan Y H, Zhang M, Cen H. Studies on the chromosome numbers of *Saccharum Pontaneum* and related plants-*Sclerostachya*, *Narenga in China*. *Sugarcane*, 2001, 3: 12-15.
- [5] 杨清辉, 李富生. 斑茅染色体和植物学性状研究. 云南农业大学学报, 1997, 12(4): 253-256.
Yang Q H, Li F S. Studies on the chromosomes and botanical characters of *Erianthus Arundinaceum* (Retz.) Jeswiet. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 1997, 12(4): 253-256. (in Chinese)
- [6] Zheng C M. Karyotypes and variations of chromosome number in sugarcane. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1993, 14(1): 47-51.
- [7] 罗 俊, 林彦铨, 张木清. 甘蔗活性氧代谢对水分胁迫的响应. 福建农业大学学报, 2000, 29: 405-410.
Luo J, Lin Y Q, Zhang M Q. Response of active oxygen metabolism in sugarcane to water stress. *Journal of Fujian Agriculture University*, 2000, 29: 405-410. (in Chinese)
- [8] 张木清, 陈如凯, 余松烈. 水分胁迫下蔗叶活性氧代谢的数学分析作物学报, 1996, 22: 729-735.
Zhang M Q, Chen R K, Yu S L. Mathematical analysis for active oxygen metabolism of sugarcane leaves exposed to water stress. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22: 729-735. (in Chinese)
- [9] Guo Y, Yu A L. Use and characterisation of the genuine intergeneric hybrids from the cross of *Saccharum* and *E. arundinaceum* Retz(III)Salinity tolerance in *Saccharum* and *Erianthus*. *Chinese Journal of Tropical Crop*, 2005, 26(2): 88-93.
- [10] 陈义强, 郭 莺, 张木清. 甘蔗与斑茅属间远缘杂种后代的活性氧代谢分析. 热带作物学报, 2005, 26(4): 46-51.
Chen Y Q, Guo Y. Active oxygen metabolism analysis for the hybrid and backcross progeny of *S. officinarum* L. and *Erianthus sect. Ripidium*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2005, 26(4): 46-51. (in Chinese)
- [11] 张木清, 陈如凯, 余松烈. 甘蔗水分胁迫下蔗叶多胺代谢变化及其与抗旱性的关系. 植物生理学报, 1996, 22: 327-332.
Zhang M Q, Chen R K, Yu S L. Changes of polyamine metabolism in sugarcane leaves exposed to water stress and its relation to drought resistance. *Acta Phytophysiology Sinica*, 1996, 22: 327-332. (in Chinese)
- [12] 陈少裕, 刘 杰. 水分胁迫对甘蔗叶片线粒体膜流动性的影响及其与膜质过氧化的关系. 植物生理学报, 1991, 17: 285-289.
Chen S Y, Liu J. Effects of water stress on membrane pluidity of sugarcane leaf mitochondria and its relation to membrane peroxidation. *Acta Phytophysiology Sinica*, 1991, 17: 285-289 (in Chinese)
- [13] Yu A L, Zhang M Q, Chen R K, Yao W, Zhou H. Cloning and expression of gene encoded Betaine Aldehyde Dehydrogenase in *Erianthus arundinaceus*. *Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology*, 2004: 522-528.
- [14] Hsiao T C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, 24: 519-570.
- [15] Health R L, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1968, 12(5): 189-198.
- [16] 谭 常. 电解质外渗百分率的测定. 上海植物生理协会. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科技文化出版社, 1985.
Tang C. Qualification of percentage of electrolytic permeation. *Experimental Manual of Plant Physiology*. Shanghai: Shanghai Scientific Technology and Culture Press, 1985. (in Chinese)
- [17] Giannoplitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase I. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedling. *Plant Physiology*, 1987, 59:315-318.
- [18] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学. 北京: 中国农业出版社, 1994: 371-372.
Liu Z Q, Zhang S C. *Plant Stress Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 1994, 371-372. (in Chinese)

- [19] 冯国基, 崔巧生. 血清过氧化氢酶活性比色测定法. 陕西医学检验, 1996, 11(4): 26-28.
Feng G J, Cui Q S. Colorimetric estimation of catalase activity in blood serum. *Shanxi Medical Inspection*, 1996, 11(4): 26-28. (in Chinese)
- [20] 陈福明, 陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 浙江林业科技, 1984, 4(1): 19-23.
Chen F M, Chen S W. Studies on the chlorophyll estimation with mixture method. *Zhejiang Forestry Science and Technology*, 1984, 4(1): 19-23. (in Chinese)
- [21] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytic Biochemistry*, 1976, 72: 248-254.
- [22] 林彦铨, 何启钧. 甘蔗的抗盐育种技术. 盐胁迫下甘蔗性状的遗传特点和配合力分析, 福建农学院学报, 1994, 23(1): 1-6.
Lin Y Q, He Q J. Sugarcane breeding techniques of salinity resistance. II. Genetic and combine ability analysis for sugarcane exposed to saline stress. *Journal of Fujian Agricultural College*, 1994, 23(1): 1-6. (in Chinese)
- [23] 陈如凯, 林彦铨. 配合力分析在甘蔗育种上的应用. 福建农业大学学报. 1995, 24(1): 1-8.
Chen R K., Lin Y Q. Application of combine ability analysis in sugarcane breeding. *Journal of Fujian Agricultural University*, 1995, 24(1): 1-8. (in Chinese)
- [24] 廖兆周, 劳方业, 周耀辉. 具有斑茅种质的耐旱甘蔗品系的选育. 作物学报, 2002, 28: 841-846.
Liao Z Z, Lao F Y, Zhou Y H. Breeding of the sugarcane drought resistant clones with *E.arundinaceus*. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28: 841-846. (in Chinese)
- [25] 汪德水. 旱地农田水肥协同效应与耦合模式. 北京: 气象出版社, 1999.
Wang D S. *Coordinated Effects and Coupled model of Manure Mixed with Water in Upland Field*. Beijing: Meteorology Press, 1999. (in Chinese)

(责任编辑 张淑兰, 赵利辉)